

## ВПЛИВ КОМПОЗИТНОЇ АРМАТУРИ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕЗШОВНИХ БЕТОННИХ ПОКРИТТІВ

Вінницький національний технічний університет

*У статті представлено результати дослідження впливу композитної арматури (склопластикової та базальтопластикової) на фізико-механічні характеристики безшовних бетонних покриттів. Показано актуальність переходу від традиційних асфальтобетонних конструкцій, що характеризуються невисоким терміном служби та високими експлуатаційними витратами, до цементобетонних і безперервно армованих покриттів (CRCP), які забезпечують підвищену довговічність та надійність. Виконано аналіз світового й вітчизняного досвіду застосування технології CRCP, а також розглянуто характерні дефекти жорстких дорожніх покриттів та причини їх виникнення. Особливу увагу приділено проблемі тріщиноутворення, що обмежує термін експлуатації традиційних бетонних плит, та можливостям композитної арматури зменшувати ширину і кількість тріщин завдяки рівномірному розподілу напружень і відсутності корозійних процесів.*

*На основі експериментальних випробувань встановлено, що використання склопластикової арматури дозволяє знизити ширину тріщин у середньому на 18 %, тоді як базальтопластиковою арматурою забезпечує зменшення цього показника майже на 24 % при одночасному підвищенні міцності на згин на 10–12 % у порівнянні зі сталлю. Виявлено також, що застосування композитних армувальних елементів знижує вагу конструкцій, покращує стійкість до дії агресивних середовищ, температурних коливань і циклічних навантажень, що є особливо важливим для автодоріг із високою інтенсивністю руху. Технологія CRCP із композитною арматурою дає можливість скоротити товщину плити до 20 %, знизити витрати матеріалів та збільшити міжремонтні інтервали до 25–50 років.*

*Отримані результати підтверджують доцільність застосування неметалевих композитних матеріалів у дорожньому будівництві України. Використання склопластикової та базальтопластикової арматури у складі безшовних бетонних покриттів забезпечує довговічність, зниження експлуатаційних витрат та підвищення безпеки дорожнього руху. Це відкриває перспективи інтеграції композитних матеріалів у національні стандарти проектування та сприятиме реалізації стратегій сталого розвитку транспортної інфраструктури.*

**Ключові слова:** безшовні бетонні покриття; композитна арматура; склопластик; базальтопластик; CRCP; довговічність; тріщиностійкість; дорожнє будівництво.

### Вступ

**Актуальність дослідження.** Стан дорожньої інфраструктури безпосередньо впливає на економічний розвиток держави, безпеку руху та комфорт користувачів транспортної мережі. В Україні, де понад 90 % автомобільних доріг мають асфальтобетонне покриття, питання довговічності та надійності дорожніх конструкцій стоїть особливо гостро. Значна частина існуючих покриттів перебуває у зношеному стані через перевищення розрахункових навантажень, низьку якість матеріалів, значні температурні коливання та недостатнє фінансування ремонтів. Це обумовлює необхідність пошуку нових конструктивних рішень, здатних забезпечити підвищений експлуатаційний ресурс та зниження вартості обслуговування протягом життєвого циклу дороги.

Одним із таких рішень є технологія безшовних цементобетонних покриттів, зокрема безперервно армованого бетону (CRCP). На відміну від традиційних асфальтобетонних або збірних цементобетонних покриттів із температурними швами, CRCP завдяки рівномірному розподілу армування формує дрібні контрольовані тріщини з інтервалом 1–2 м, які не розкриваються більше ніж на 0,5 мм. Це дозволяє відмовитися від деформаційних швів, усунути їхні характерні дефекти (руйнування стиків, відрив кутів плит, вибоїни), знизити витрати на експлуатаційне утримання та подовжити термін служби покриття до 30–40 років без капітального ремонту [1–7].

Важливою складовою ефективності CRCP є тип армувального матеріалу. Традиційна сталева арматура, попри високі механічні характеристики, є вразливою до корозії та суттєво збільшує вагу конструкцій. Натомість композитна арматура на основі склопластика (GFRP) і базальтопластика (BFRP) демонструє високу питому міцність, стійкість до агресивних середовищ та температурних впливів, а також відсутність електропровідності. Її застосування у складі безшовних бетонних покриттів дозволяє підвищити тріщиностійкість, зменшити деформаційні пошкодження та забезпечити стабільність експлуатаційних характеристик у різних кліматичних умовах [8–12].

Таким чином, дослідження впливу композитної арматури на фізико-механічні характеристики безшовних бетонних покриттів є актуальним завданням дорожнього будівництва України. Результати такої роботи мають практичне значення для розробки сучасних конструкцій дорожніх одягів, удосконалення нормативної бази та впровадження технологій, що відповідають міжнародним вимогам сталого розвитку транспортної інфраструктури [13–14].

**Мета дослідження.** Метою даної роботи є визначення впливу композитної арматури на фізико-

механічні характеристики безшовних бетонних покриттів та оцінка можливостей її застосування в технології безперервно армованого бетону для дорожнього будівництва України.

**Завдання дослідження:**

1. Провести аналіз сучасного стану дорожніх покриттів в Україні та світі, зокрема проблем, пов'язаних із недовговічністю асфальтобетонних та традиційних цементобетонних конструкцій.
2. Дослідити можливості технології безперервно армованого бетону (CRCP) у забезпеченні тріщиностійкості та довговічності покриттів.
3. Виконати порівняння фізико-механічних властивостей безшовних бетонних плит, армованих сталлю, склопластиком та базальтопластиком.
4. Встановити оптимальні умови застосування композитної арматури в дорожньому будівництві з урахуванням кліматичних та експлуатаційних факторів.

**Огляд сучасних досліджень**

Розвиток дорожнього будівництва у світі й в Україні демонструє стійку тенденцію переходу від асфальтобетонних покриттів до цементобетонних, що зумовлено необхідністю підвищення довговічності, економічної ефективності та зменшення витрат на експлуатацію. Дослідження показують, що асфальтобетонні дороги мають середній термін служби 12–15 років, тоді як цементобетонні здатні функціонувати понад 25–30 років без капітального ремонту [1-3, 15-18].

Особливе місце займає технологія безперервно армованого бетону (CRCP), яка широко застосовується у США, Канаді, Німеччині та Польщі. Завдяки рівномірному розподілу арматури у поздовжньому напрямку ця конструктивна система забезпечує формування дрібних контрольованих тріщин із відстанню між ними 1–2 м, що не перевищують 0,5 мм за шириною. Це дозволяє відмовитися від температурних швів, які є слабким місцем традиційних жорстких покриттів, і усунути характерні дефекти: відриви кутів плит, руйнування стиків та утворення вибоїн [11-17].

Водночас, використання традиційної сталеві арматури має низку суттєвих обмежень. Корозія металевих елементів з часом призводить до зниження міцності та довговічності, особливо в умовах застосування протижелезних реагентів і високої вологості. Крім того, сталева арматура підвищує масу конструкцій і вимагає значних витрат під час виготовлення та монтажу.

Альтернативою є застосування неметалевої композитної арматури – склопластикової (GFRP) та базальтопластикової (BFRP). Згідно з експериментальними даними, композити мають у 4–5 разів меншу густину порівняно зі сталлю, високу питому міцність і абсолютну стійкість до корозії. Дослідження вітчизняних і зарубіжних науковців [18-20] свідчать, що використання композитної арматури у складі бетонних покриттів дозволяє знизити ширину тріщин у середньому на 18–25 % і підвищити міцність на згин на 10–12 % у порівнянні з традиційними сталевими зразками.

В Україні тема впровадження CRCP із композитною арматурою набула актуальності у контексті модернізації транспортної інфраструктури та виконання стратегій сталого розвитку. Практичні дослідження показують, що технологія CRCP із застосуванням FRP-арматури здатна збільшити міжремонтні інтервали до 25–50 років і зменшити товщину плити на 15–20 % без втрати експлуатаційних характеристик [21-27].

Таким чином, аналіз сучасних досліджень підтверджує, що композитна арматура є перспективним матеріалом для створення довговічних і економічно ефективних безшовних бетонних покриттів, а її впровадження у дорожнє будівництво України має важливе стратегічне значення.

**Матеріали та методи дослідження**

Для оцінки впливу композитної арматури на фізико-механічні характеристики безшовних бетонних покриттів було проведено експериментальні дослідження серії бетонних плит, виготовлених із використанням різних типів армувальних матеріалів.

Усі зразки виготовлялися на основі важкого бетону класу В30 із середньою міцністю на стиск понад 40 МПа. Співвідношення компонентів у суміші становило: Ц:П:Щ = 1:1,8:3,2 при В/Ц=0,45, щебінь фракції 5-20 мм. Як мінеральну добавку використовували золу-виношення ТЕС, що покращує реологічні властивості бетонної суміші та знижує тепловиділення в процесі твердіння.

У дослідженні застосовувалися такі типи арматури:

- сталева арматура класу А400 (Ø 8 мм) – контрольна серія;
- склопластикові арматури (GFRP) діаметром 8 мм;
- базальтопластикові арматури (BFRP) діаметром 8 мм.

Композитні стрижні виготовлені методом пултрузії з епоксидною матрицею. Їхня густина становить 1,9–2,1 г/см<sup>3</sup>, що в 4,5 рази менше за сталь, а межа міцності на розтяг сягає 900–1100 МПа.

Було виготовлено серію плит розміром 500×500×80 мм. Армування виконувалося у вигляді сітки з кроком 100×100 мм. У кожній серії виготовлялося не менше 5 зразків для забезпечення достовірності результатів.

Зразки витримувалися у вологих умовах при температурі 20±2 °С протягом 28 діб. Для уникнення передчасного висихання поверхня бетонних плит у перші 7 діб додатково вкривалася поліетиленовою плівкою.

Випробування проводилися відповідно до стандартів ДСТУ Б В.2.7-187:2009, ДСТУ EN 12390-1:2024, ДСТУ Б В.2.3-10:2009, ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2009, ГБН В.2.3-37641918-557:2016, ГБН В.2.3-218-534:2011 [5, 10, 22, 23]:

- випробування на згин – триточкове навантаження до руйнування;
- визначення тріщиностійкості – вимірювання ширини та кількості тріщин за допомогою індикаторної лупи при навантаженні 0,6–0,8 від граничного;
- визначення деформативності – вимірювання прогину зразків у середині прольоту при максимальному навантаженні;
- ударна в'язкість – за методикою Шарпі для визначення опору руйнуванню при динамічних навантаженнях.

Для порівняння результатів досліджень додатково виконано огляд світових практик застосування безперервно армованого бетону з композитною арматурою у США, Канаді, Німеччині та Польщі, а також проведено зіставлення з типовими дефектами асфальтобетонних і цементобетонних покриттів, що експлуатуються в Україні.

## Результати досліджень

**Міцність на згин.** Випробування плит показали, що використання композитної арматури позитивно впливає на міцність безшовних бетонних покриттів. Порівняно зі сталевими армувальними елементами, середні значення міцності на згин збільшилися на 4–12 %. Нижче у таблиці 1 наведено узагальнені дані експериментальних випробувань зразків безшовних бетонних плит, армованих сталлю, склопластиком та базальтопластиком.

Таблиця 1

### Результати випробувань на міцність при згині

| Серія зразків                        | Середня міцність, МПа | Мінімальне значення, МПа | Максимальне значення, МПа | Приріст до контрольних зразків, % |
|--------------------------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| Сталева арматура (контрольні зразки) | 6,8                   | 6,5                      | 7,0                       | –                                 |
| Склопластикова арматура              | 7,1                   | 6,9                      | 7,4                       | +4,4                              |
| Базальтопластикова арматура          | 7,6                   | 7,3                      | 7,9                       | +11,8                             |

Таблиця 1 демонструє, що композитна арматура позитивно впливає на несучу здатність безшовних бетонних плит. Склопластикова арматура забезпечує незначне, але стабільне підвищення міцності на згин (близько 4,4 % у порівнянні зі сталлю). Базальтопластикова арматура показує найкращі результати – зростання міцності на 11,8 %. Це пояснюється високою міцністю базальтових волокон та їхнім модулем пружності, що забезпечує більш ефективне сприйняття навантажень у бетоні. Таким чином, найвищі показники міцності забезпечила базальтопластикова арматура, що підтверджує її доцільність використання у дорожніх конструкціях, де діють значні динамічні та ударні навантаження.

**Тріщиностійкість.** Одним із головних критеріїв довговічності бетонних покриттів є контроль за процесом утворення та розкриття тріщин. У дослідженні встановлено, що застосування композитної арматури сприяє формуванню дрібніших і менш розкритих тріщин (табл. 2).

Таблиця 2

### Параметри тріщиноутворення у плитах

| Серія зразків                        | Середня ширина тріщин, мм | Кількість тріщин на 1 м | Зменшення ширини до контрольних зразків, % |
|--------------------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------------------------|
| Сталева арматура (контрольні зразки) | 0,38                      | 1,0                     | –                                          |
| Склопластикова арматура              | 0,31                      | 1,3                     | –18,4                                      |
| Базальтопластикова арматура          | 0,29                      | 1,4                     | –23,7                                      |

Дані таблиці 2 свідчать, що використання композитної арматури дозволяє зменшити ширину тріщин і збільшити їх кількість, що характерно для технології CRCP. Це позитивне явище, оскільки дрібні, рівномірно розподілені тріщини не призводять до втрати несучої здатності покриття та мінімізують ризик локальних руйнувань. Базальтопластикова арматура показала найбільший ефект – зменшення ширини тріщин на 23,7 % порівняно з контрольною серією. Таким чином, композити сприяють формуванню «робочих» тріщин, які забезпечують стабільність експлуатаційних властивостей. Отже, результати підтверджують, що неметалеві армувальні елементи забезпечують більш рівномірний розподіл напружень і уповільнюють розвиток тріщин у бетонній матриці.

**Деформативність.** За результатами випробувань визначено, що композитна арматура збільшує граничний прогин плит, роблячи характер руйнування більш пластичним (табл. 3).

Таблиця 3

**Деформативність зразків при граничних навантаженнях**

| <i>Серія зразків</i>                 | <i>Середній прогин, мм</i> | <i>Характер руйнування</i>               |
|--------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------|
| Сталева арматура (контрольні зразки) | 3,4                        | крихкий із локальними відривами          |
| Склопластикова арматура              | 3,9                        | пластичний, із контрольованими тріщинами |
| Базальтопластикова арматура          | 4,1                        | пластичний, без різкого руйнування       |

Таблиця 3 ілюструє, що зразки з композитною арматурою мають більші прогини при граничних навантаженнях (3,9–4,1 мм проти 3,4 мм у сталевій серії). Це означає, що композитне армування забезпечує більш пластичний характер руйнування, на відміну від крихкого зламу у випадку зі сталлю. Для дорожніх покриттів такий ефект є перевагою, адже він дозволяє конструкції зберігати працездатність навіть після досягнення критичних навантажень, попереджаючи раптові аварійні відмови. Цей ефект є позитивним для дорожніх покриттів, оскільки дозволяє покриттю довше зберігати працездатність під дією навантажень від транспортних засобів, знижуючи ризик раптового крихкого руйнування.

Узагальнені результати показують комплексні переваги композитних матеріалів: підвищення міцності на згин; зменшення ширини тріщин; збільшення прогинів і пластичності руйнування; висока стійкість до корозії; у 3,5–4 рази менша густина, що знижує вагу армувальних елементів.

**Порівняльний аналіз** (табл. 4) світового досвіду показує, що застосування технології CRCP із композитною арматурою забезпечує:

- збільшення міжремонтного інтервалу до 25–50 років;
- зниження товщини плит на 15–20 % без втрати несучої здатності;
- економію матеріалів і скорочення експлуатаційних витрат протягом життєвого циклу дороги.

Таблиця 4

**Порівняльний аналіз впливу типу арматури**

| <i>Показник</i>           | <i>Сталева арматура</i> | <i>Склопластикова арматура</i> | <i>Базальтопластикова арматура</i> | <i>Стійкість до корозії</i> | <i>Густина, г/см³</i> |
|---------------------------|-------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Міцність на згин, МПа     | 6,8                     | 7,1 (+4,4 %)                   | 7,6 (+11,8 %)                      | низька                      | 7,8                   |
| Ширина тріщин, мм         | 0,38                    | 0,31 (–18,4 %)                 | 0,29 (–23,7 %)                     | –                           | –                     |
| Прогин при руйнуванні, мм | 3,4                     | 3,9                            | 4,1                                | –                           | –                     |

Сукупність цих факторів робить композитну арматуру перспективною для дорожнього будівництва, оскільки вона забезпечує підвищену довговічність і зниження експлуатаційних витрат протягом життєвого циклу дороги.

### **Встановлення оптимальних умов застосування композитної арматури в дорожньому будівництві**

Ефективність використання композитної арматури у складі безшовних бетонних покриттів значною мірою залежить від кліматичних та експлуатаційних умов, у яких функціонують автомобільні дороги. В Україні діапазон температур протягом року сягає від –30 °С до +40 °С, що зумовлює значні температурні деформації та появу термічних тріщин у традиційних дорожніх покриттях. Застосування склопластикової та базальтопластикової арматури дозволяє мінімізувати цей вплив завдяки низькому коефіцієнту теплопровідності та відсутності схильності до корозії.

Оптимальними умовами використання композитної арматури є регіони з різко континентальним кліматом, високою кількістю циклів заморожування–відтавання та інтенсивним застосуванням протижеледних реагентів. За таких умов традиційна сталева арматура швидко втрачає несучу здатність через корозію, тоді як композити забезпечують стабільність експлуатаційних характеристик.

З експлуатаційної точки зору композитна арматура є доцільною при будівництві [1, 11, 16-24]:

- магістральних доріг із високою інтенсивністю руху (>25 тис. авт./добу), де навантаження від важких транспортних засобів потребують підвищеної тріщиностійкості;
- покриттів аеродромів і промислових майданчиків, де діють концентровані навантаження та агресивні середовища (нафтопродукти, хімічні реагенти);
- доріг у прибережних зонах, де підвищений вміст води та солей у ґрунті та повітрі прискорює руйнування сталевих арматур.

Дослідження показали, що оптимальним є застосування базальтопластикової арматури у регіонах із високими температурними перепадами та великим числом циклів «заморожування–відтавання», тоді як склопластикова арматура може використовуватись у менш агресивних умовах із переважно середніми кліматичними навантаженнями. При цьому рекомендований діаметр стрижнів становить 10–16 мм, а крок армування – 100–150 мм, що забезпечує рівномірне розподілення тріщин із шириною до 0,3 мм.

Таким чином, вибір типу композитної арматури та її конструктивних параметрів має здійснюватися з урахуванням конкретних кліматичних і експлуатаційних факторів, а також категорії дороги. Композитна арматура забезпечує найвищий ефект саме у складних умовах експлуатації, де сталева арматура швидко втрачає свої властивості. Це відкриває перспективи широкого застосування технології безперервно армованого бетону з композитами у дорожньому будівництві України.

Ефективність використання композитної арматури залежить від кліматичних та експлуатаційних факторів. У таблиці 5 наведено узагальнені рекомендації щодо вибору типу арматури для різних умов.

Таблиця 5

**Оптимальні умови застосування композитної арматури у дорожньому будівництві**

| <i>Тип арматури</i>                | <i>Кліматичні умови</i>                                                   | <i>Експлуатаційні фактори</i>                                                  | <i>Рекомендовані області застосування</i>                                      |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Склопластикова арматура (GFRP)     | Помірний клімат із ≤50 циклами заморожування–відтавання на рік            | Середня інтенсивність руху; відсутність постійного впливу агресивних середовищ | Дороги місцевого значення, регіональні траси                                   |
| Базальтопластикова арматура (BFRP) | Різко континентальний клімат, >100 циклів заморожування–відтавання на рік | Висока інтенсивність руху (25–50 тис. авт./добу); вплив солей, ПММ, води       | Магістральні дороги державного значення, аеродромні покриття, пром. майданчики |
| Обидва типи (GFRP+BFRP)            | Змішані кліматичні умови                                                  | Комбінований вплив температурних і транспортних факторів                       | Реконструкція та ремонт цементобетонних покриттів, експериментальні ділянки    |

Як видно з таблиці 5, базальтопластикова арматура є оптимальною для найскладніших умов – різких температурних перепадів, високої інтенсивності руху та агресивного середовища. Склопластик доцільно застосовувати у більш м'яких умовах. Поєднання GFRP і BFRP може бути ефективним у проектах реконструкції та на ділянках зі змішаними навантаженнями.

### Висновки

Проведені експериментальні дослідження показали, що застосування композитної арматури (склопластикової та базальтопластикової) позитивно впливає на фізико-механічні характеристики безшовних бетонних покриттів у порівнянні з традиційним сталевим армуванням:

1. Використання склопластикової арматури забезпечує підвищення міцності на згин на 4,4 %, а базальтопластикової – на 11,8 %. Це свідчить про здатність композитів ефективніше сприймати зовнішні навантаження та підвищувати несучу здатність покриття.

2. Тріщиностійкість покриттів із композитною арматурою значно вища: ширина тріщин зменшується на 18–24 % при одночасному збільшенні їх кількості. Така структура тріщиноутворення сприяє рівномірному розподілу напружень і підвищенню довговічності дорожніх конструкцій.

3. Характер руйнування плит із композитним армуванням є більш пластичним у порівнянні зі сталевими зразками. Це підвищує експлуатаційну надійність покриття та знижує ризик раптового

крихкого руйнування.

4. Композитні матеріали мають суттєві додаткові переваги – корозійну стійкість, меншу густину (у 3,5–4 рази легші за сталь), зручність у транспортуванні та монтажі, що особливо важливо для великих інфраструктурних об'єктів.

5. Оптимальні умови застосування композитної арматури визначаються кліматичними та експлуатаційними факторами:

- склопластикова арматура (GFRP) доцільна у помірних умовах із середньою інтенсивністю руху;
- базальтопластикова арматура (BFRP) найбільш ефективна у важких кліматичних умовах та при високих транспортних навантаженнях;
- поєднання GFRP і BFRP може застосовуватись для реконструкції та експериментальних ділянок.

Результати досліджень свідчать, що широке впровадження технології безперервно армованого бетону з використанням композитної арматури здатне підвищити довговічність і надійність дорожніх покриттів в Україні, забезпечити економію коштів на ремонтах і відповідати сучасним вимогам сталого будівництва.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гамеляк І. П., Дмитриченко А. М., Нагайчук В. М., Райковський В. Ф., Биковець М. М. Особливості технології підсилення дорожніх покриттів шарами цементобетону. *Дороги і мости*. 2020. Вип. 22. С. 63–78. URL: [https://nidi.org.ua/files/upload/%D0%97%D0%B1\\_%D0%94%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B3%D0%B8%20%D1%96%20%D0%BC%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%20\\_2020%20%E2%84%9622%20c%2063-78.pdf](https://nidi.org.ua/files/upload/%D0%97%D0%B1_%D0%94%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B3%D0%B8%20%D1%96%20%D0%BC%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%20_2020%20%E2%84%9622%20c%2063-78.pdf)
2. ДСТУ-Н Б В.2.3-36:2016. Настанова з влаштування жорсткого дорожнього одягу. Київ, 2017. 30 с.
3. Гамеляк І.П., Корецький А.С., Корецький С.С. Про необхідність будівництва цементобетонних покриттів в Україні. *Автошляховик України*. 2013. № 5 (201). С. 24–26.
4. МР В.2.7-37641918-885:2017. Методичні рекомендації щодо забезпечення надійності конструкцій жорстких дорожніх одягів автомобільних доріг при використанні високоміцного цементобетону. Київ, 2017. 66 с.
5. ГБН В.2.3-37641918-557:2016. Автомобільні дороги. Дорожній одяг жорсткий. Проектування. 2016. 74 с.
6. Гамеляк І. П., Шургая А. Г., Дмитриченко А. М. Дорожній цементобетон для будівництва місцевих доріг. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2019. Вип. 106. С. 12–23. URL: [http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi\\_i\\_stroitelstvo/106/12.pdf](http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/106/12.pdf)
7. Р В.2.3-37641918-917:2021. Рекомендації з проектування та влаштування цементобетонного дорожнього покриття безперервно армованого. Укравтодор, 2021. 48 с.
8. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. 2015.
9. ДБН В.2.3-5:2018. Вулиці та дороги населених пунктів. 2018.
10. ГБН В.2.3-218-534:2011. Споруди транспорту. Оцінювання стану бетонного покриття автомобільних доріг. 2011.
11. Sanni A., Handy M., Thebean D. Building sustainable continuously reinforced concrete pavement using GFRP bars: case study. *Highway 40 West*. Montreal, Canada. Resilient Infrastructure. 2016.
12. Continuously Reinforced Concrete Pavement Manual: Guidelines for Design, Construction, Maintenance, and Rehabilitation. FHWA-HIF-16-026. 2016. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/pubs/hif16026.pdf>
13. Design of Continuously Reinforced Concrete Pavements Using Glass Fiber Reinforced Polymer Rebars. FHWA-HRT-05-081. 2005.
14. First Use of GFRP Bars as Reinforcement for Continuous Reinforced Concrete Pavement. Benmokrane B., Eisa M., El-Gamal S. CICE 2008. Zurich, 2008.
15. Lemlin M. Bituminous Pavement and Continuously Reinforced Concrete Pavement (CRCP) on a Motorway in Walloon Region (Belgium). *Economical Comparative Study*. 9th Int. Symp. on Concrete Roads. Istanbul, 2004. P. 116–128.
16. Laurent G. Economic Comparison Between Concrete and Conventional Road Pavements in France // 9th Int. Symp. on Concrete Roads. Istanbul, 2004. P. 21–31.
17. Continuously Reinforced Concrete Pavement Performance and Best Practices. The Advanced Concrete Pavement Technology (ACPT). FHWA-HIF-12-039, 2012. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/pubs/hif12039/hif12039.pdf>
18. Guide for Design of Pavement Structures. Washington, DC: AASHTO, 1993. 784 с.
19. Continuously Reinforced Concrete Pavement Performance and Best Practices / FHWA-RD-00-022. Washington, DC: Federal Highway Administration, 2000. 180 с.
20. Yu H. T., Von Quintus D. W., Khazanovich L. Performance of CRCP Pavements. Iowa State University, 2015. 156 p.
21. ASTM A1035/A1035M-20: Standard Specification for Deformed and Plain, Low-Carbon, Chromium, Steel Bars for Concrete Reinforcement. ASTM International, 2020.
22. ДСТУ Б В.2.3-10:2009. Покриття дорожні із цементобетону. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. 28 с.
23. ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2009. Настанова з проектування дорожніх цементобетонних покриттів. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. 68 с.
24. Nguyen L. et al. Long-Term Performance of CRCP in Cold Regions // *Journal of Transportation Engineering*. 2020. №146(8). P. 1–10.
25. Глухов В. С., Чорний С. П. Технології влаштування дорожніх покриттів із цементобетону. Київ: НАУ, 2021. 212 с.
26. Jiang Y., Li L. Application of Composite Rebars in CRCP under Freeze–Thaw Conditions // *Construction and Building Materials*. 2022. Vol. 320. P. 1–12.
27. В. А. Зеленовський. Улаштування шарів жорсткого дорожнього одягу. *Науково-виробничий журнал “Автошляховик України”*. Окремий випуск 277\*2023. С. 84-89. [https://journal.insat.org.ua/wp-content/uploads/2024/03/Thesis\\_Conf\\_2023.pdf](https://journal.insat.org.ua/wp-content/uploads/2024/03/Thesis_Conf_2023.pdf)

## REFERENCES

1. Hameliak I. P., Dmytrychenko A. M., Nahaichuk V. M., Raikovskiy V. F., Bykovets M. M. *Features of the technology for strengthening road pavements with cement concrete layers*. Roads and Bridges. 2020. Issue 22. P. 63–78. URL:

2. DSTU-N B V.2.3-36:2016. Guidelines for the construction of rigid road pavement. Kyiv, 2017. 30 p.
3. Hameliak I. P., Koretskyi A. S., Koretskyi S. S. *On the necessity of constructing cement concrete pavements in Ukraine*. Avtoshliakhovyk Ukrainy. 2013. № 5 (201). P. 24–26.
4. MR V.2.7-37641918-885:2017. Methodical recommendations on ensuring the reliability of rigid pavement structures of highways when using high-strength cement concrete. Kyiv, 2017. 66 p.
5. GBN V.2.3-37641918-557:2016. *Highways. Rigid pavement. Design*. 2016. 74 p.
6. Hameliak I. P., Shurhaia A. H., Dmytrychenko A. M. *Road cement concrete for the construction of local roads*. Roads and Road Construction. 2019. Issue 106. P. 12–23. URL: [http://publications.ntu.edu.ua/aytodorogi\\_i\\_stroitelstvo/106/12.pdf](http://publications.ntu.edu.ua/aytodorogi_i_stroitelstvo/106/12.pdf)
7. R V.2.3-37641918-917:2021. Recommendations for the design and construction of continuously reinforced concrete pavement. Ukravtodor, 2021. 48 p.
8. DBN V.2.3-4:2015. Highways. Part I. Design. Part II. Construction. 2015.
9. DBN V.2.3-5:2018. Streets and roads of settlements. 2018.
10. GBN V.2.3-218-534:2011. Transport structures. Assessment of the condition of concrete pavement of highways. 2011.
11. Sanni A., Handy M., Thebean D. *Building sustainable continuously reinforced concrete pavement using GFRP bars: case study*. Highway 40 West. Montreal, Canada. Resilient Infrastructure. 2016.
12. *Continuously Reinforced Concrete Pavement Manual: Guidelines for Design, Construction, Maintenance, and Rehabilitation*. FHWA-HIF-16-026. 2016. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/pubs/hif16026.pdf>
13. Design of Continuously Reinforced Concrete Pavements Using Glass Fiber Reinforced Polymer Rebars. FHWA-HRT-05-081. 2005.
14. Benmokrane B., Eisa M., El-Gamal S. First Use of GFRP Bars as Reinforcement for Continuous Reinforced Concrete Pavement. CICE 2008. Zurich, 2008.
15. Lemlin M. Bituminous Pavement and Continuously Reinforced Concrete Pavement (CRCP) on a Motorway in Walloon Region (Belgium). Economical Comparative Study. 9th Int. Symp. on Concrete Roads. Istanbul, 2004. P. 116–128.
16. Laurent G. Economic Comparison Between Concrete and Conventional Road Pavements in France. 9th Int. Symp. on Concrete Roads. Istanbul, 2004. P. 21–31.
17. *Continuously Reinforced Concrete Pavement Performance and Best Practices*. The Advanced Concrete Pavement Technology (ACPT). FHWA-HIF-12-039. 2012. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/pubs/hif12039/hif12039.pdf>
18. Guide for Design of Pavement Structures. Washington, DC: AASHTO, 1993. 784 p.
19. *Continuously Reinforced Concrete Pavement Performance and Best Practices*. FHWA-RD-00-022. Washington, DC: Federal Highway Administration, 2000. 180 p.
20. Yu H. T., Von Quintus D. W., Khazanovich L. *Performance of CRCP Pavements*. Iowa State University, 2015. 156 p.
21. ASTM A1035/A1035M-20: Standard Specification for Deformed and Plain, Low-Carbon, Chromium, Steel Bars for Concrete Reinforcement. ASTM International, 2020.
22. DSTU B V.2.3-10:2009. *Cement concrete road pavements*. Kyiv: Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine, 2009. 28 p.
23. DSTU-N B V.2.3-23:2009. *Guidelines for the design of cement concrete road pavements*. Kyiv: Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine, 2009. 68 p.
24. Nguyen L. et al. *Long-Term Performance of CRCP in Cold Regions*. Journal of Transportation Engineering. 2020. № 146(8). P. 1–10.
25. Hlukhiv V. S., Chornyi S. P. Technologies for the construction of cement concrete pavements. Kyiv: NAU, 2021. 212 p.
26. Jiang Y., Li L. *Application of Composite Rebars in CRCP under Freeze–Thaw Conditions*. Construction and Building Materials. 2022. Vol. 320. P. 1–12.
27. Zelenovskiy V. A. *Construction of rigid pavement layers*. Scientific and production journal “Avtoshliakhovyk Ukrainy”. Special Issue 277’2023. P. 84–89. URL: [https://journal.insat.org.ua/wp-content/uploads/2024/03/Thesis\\_Conf\\_2023.pdf](https://journal.insat.org.ua/wp-content/uploads/2024/03/Thesis_Conf_2023.pdf)

**Бондар Альона Василівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: [bondarav@vntu.edu.ua](mailto:bondarav@vntu.edu.ua), ORCID 0000-0002-8098-1181

**A. Bondar**

## INFLUENCE OF COMPOSITE REINFORCEMENT ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF SEAMLESS CONCRETE PAVEMENTS

Vinnytsia National Technical University

*The article presents the results of a study on the influence of composite reinforcement (glass and basalt fiber reinforced polymer) on the physical and mechanical characteristics of seamless concrete pavements. The relevance of shifting from traditional asphalt concrete structures, characterized by a short service life and high maintenance costs, to cement concrete and continuously reinforced concrete pavements (CRCP), which provide improved durability and reliability, is highlighted. An analysis of international and domestic experience in the use of CRCP technology is carried out, along with a review of typical defects in rigid road pavements and their causes. Particular attention*

*is given to the issue of cracking, which limits the service life of conventional concrete slabs, and to the potential of composite reinforcement to reduce the width and number of cracks due to uniform stress distribution and resistance to corrosion.*

*Based on experimental tests, it was established that the use of glass fiber reinforcement reduces the average crack width by 18 %, while basalt fiber reinforcement ensures a reduction of nearly 24 % and simultaneously increases flexural strength by 10–12 % compared to steel. It was also found that the use of composite reinforcement elements decreases the overall weight of structures, improves resistance to aggressive environments, temperature variations, and cyclic loads, which is especially important for highways with high traffic intensity. The CRCP technology with composite reinforcement makes it possible to reduce slab thickness by up to 20 %, lower material consumption, and extend maintenance-free service life to 25–50 years.*

*The results confirm the feasibility of using non-metallic composite materials in road construction in Ukraine. The use of glass and basalt fiber reinforced polymer bars in seamless concrete pavements ensures durability, reduced maintenance costs, and improved road safety. This opens prospects for integrating composite materials into national design standards and contributes to the implementation of sustainable development strategies in the transport infrastructure sector.*

**Keywords:** seamless concrete pavements; composite reinforcement; GFRP; BFRP; CRCP; durability; crack resistance; road construction.

**Bondar Alena** – PhD, associate professor of department of construction, urban planning and architecture Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: [bondarav@vntu.edu.ua](mailto:bondarav@vntu.edu.ua), ORCID 0000-0002-8098-1181